

PROTOTIPO A ESCALA DE UN MODELO DE RESONANCIA EN EDIFICACIONES PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

SCALE PROTOTYPE OF A MODEL OF RESONANCE IN BUILDINGS FOR THE CIVIL ENGINEERING LABORATORY OF THE CATHOLIC UNIVERSITY OF COLOMBIA

Fabián Cárdenas Hernández¹, Camilo Cepeda Isidro²

RESUMEN

El presente artículo pretende demostrar los posibles efectos que generan los movimientos oscilatorios mediante un modelo físico, el cual permite conocer el movimiento y comportamiento de las estructuras cuando se presentan sismos con diferentes frecuencias. Se estudió y se planteó algunos mecanismos que logren atenuar o aislar los movimientos oscilatorios evitando que las estructuras entren en resonancia. Se describen las distintas fases del proceso que se implementaron para la elaboración del prototipo a escala, su complejidad y el funcionamiento del mismo, abarcando la importancia de cada material y elemento utilizado para su elaboración, tomando como referentes prototipos ya realizados en diferentes universidades tanto a nivel nacional como internacional.

Palabras Clave: estructura, frecuencia, prototipo, resonancia, sismo.

ABSTRACT

This article aims to demonstrate the possible effects that generate oscillatory movements using a physical model, which allows to know the movement and behavior of structures when occur earthquakes with different frequencies. He studied and raised some mechanisms that can mitigate or isolate the oscillatory movements avoiding that the structures come into resonance. Describes the different phases of the process implemented for the elaboration of the scale, complexity and the operation of the prototype, covering the importance of each material and element used for its production, taking as reference prototypes already carried out in different universities both nationally and internationally

Keywords: structure, frequency, prototype, resonance, sismo.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., fcardenas80@ucatolica.edu.co

² Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., ccepeda33@ucatolica.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En términos muy sencillos, una vibración es un movimiento oscilatorio de una pequeña amplitud. Para que se genere este movimiento oscilatorio, es preciso que el sistema posea un elemento inercial (energía cinética) y un restaurador (energía potencial). Habitualmente los elementos restauradores se generalizan como elementos elásticos, aunque hay sistemas en los que no existe un elemento elástico, pero sin embargo pueden vibrar. Cada uno de los cuerpos presenta una señal de vibración, la cual plasman cada una de sus características [1].

El siguiente trabajo pretende destacar la importancia del fenómeno de la resonancia en la construcción de obras civiles, mediante un modelo gráfico y mecánico de un prototipo a escala de edificaciones y su análisis modal, con el fin de averiguar cómo la resonancia mecánica puede afectar la estructura. Igualmente se presenta como un desarrollo integrador de tecnología, incorporando instrumentaciones electrónicas en la propuesta de sensores para el montaje físico del prototipo.

Este proyecto está enfocado en la elaboración del anteriormente modelo mencionado, y el esquematizar las prácticas de laboratorio para que los estudiantes de ingeniería civil y de otras disciplinas afines al proyecto, indaguen acerca de esta área de la física.

2. REFERENTES HISTÓRICOS

Debido a la importancia de la temática de sismo resistencia, diferentes universidades a nivel mundial han realizado modelos de resonancia en edificaciones de pequeña escala para realizar estudios en áreas de dinámica de suelos y de estructuras, utilizando un dispositivo de bajo costo que logre simular el comportamiento de la estructura bajo la acción de un sismo.

2.1. Universidad EAFIT

La mesa vibratoria nace a finales del año 2005 como un proyecto de investigación confinado por la universidad EAFIT, Colcencias y la industria del sector de la construcción Lunsá, Anfalit, Cementos El Cairo, Indural y Concretodo. Fue la primera universidad en realizar este tipo de mesa y es única en el país como equipo para el estudio de la respuesta sísmica de sistemas de estructuras.

El máximo desplazamiento que tiene esta mesa vibratoria es de 10cm, desde su construcción, este simulador ha sido utilizado en proyectos de investigación de EAFIT, Universidad Nacional y la Universidad de Medellín. En el sector productivo. Se presta para el servicio de ensayos de sistemas estructurales de mampostería, muros livianos y algunos sistemas prefabricados [2].

Ilustración 1. Laboratorio de Investigación en Ingeniería Sísmica



Fuente: Universidad EAFIT

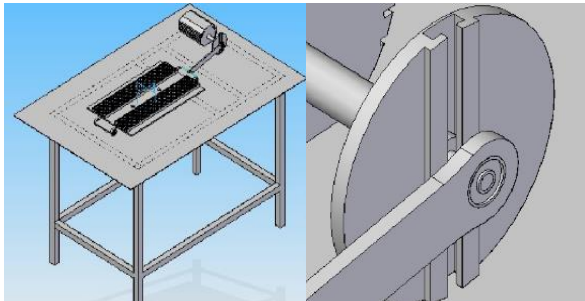
2.2. Universidad nacional de Colombia sede Bogotá

Las líneas de investigación, innovación y desarrollo tecnológico del departamento de ingeniería mecánica e ingeniería mecatrónica realizaron una máquina y prototipo en el año 2010 que generara sismos a escala.

Dicho dispositivo fue realizado con el fin de aportar nuevos desarrollos en la ingeniería, especialmente en la ingeniería civil, abriendo puertas a la investigación en el área de dinámica de las estructuras, buscando el

desarrollo de mejores sistemas de sismo-resistentes [3].

Ilustración 2. Dispositivo para generar sismos a escala



Fuente: Universidad Nacional de Colombia

El equipo cuenta con una consideración de seguridad, que hace referencia a la implementación de una cúpula de seguridad para evitar que los elementos puedan lastimar a las personas que estén operando el dispositivo o a las personas que se encuentren cerca a este. El sistema biela-manivela fue considerado como una zona de peligrosidad debido a que se pueden presentar accidentes en las manos, por ello para lograr minimizar los riesgos se realizó un estudio que definiera la mejor ubicación [3].

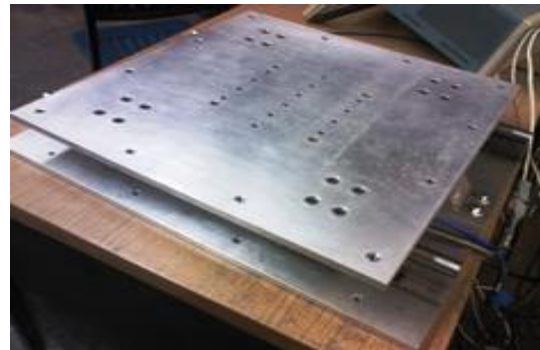
2.3. Universidad del Valle y Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

La Universidad del Valle realizó simuladores sísmicos para la evaluación del sismo resistencia en el año 2010. Fue un trabajo interdisciplinario de las escuelas de Ingeniería eléctrica e ingeniería civil que da como resultado el diseño e instalación de un simulador sísmico en el que se pueden montar y desarrollar experimentos remotos a pequeña escala para medir el comportamiento y la dinámica de las estructuras en eventos sísmicos.

Durante dos años el grupo de investigación G-7 y el grupo de control industrial GICI desarrollaron con apoyo de Colciencias un

proyecto sobre laboratorios remotos que incluye la mesa vibratoria y tres plataformas más para realizar experimentos de estática, resistencia de materiales y análisis estructural [4].

Ilustración 3. Mesa vibratoria



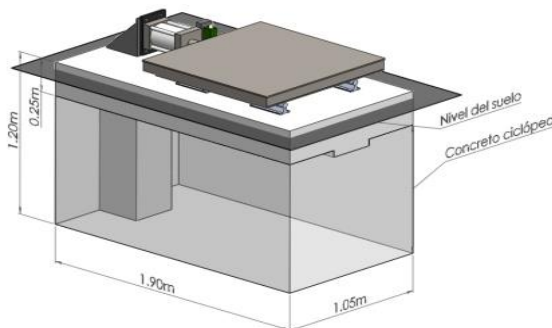
Fuente: Boletín de la Universidad del Valle

2.4. Universidad Militar Nueva Granada

En el 2013 la universidad realizó el diseño de una mesa vibratoria capaz de soportar una estructura de 10 kN en un área de 1,0m², adecuada para realizar simulaciones sísmicas con frecuencia máxima de excitación de 15 Hz. Para ello, evaluaron los elementos mecánicos existentes en el laboratorio de estructuras de la UMNG, por medio de software para el análisis de elementos finitos.

En general, el diseño definitivo corresponde a una estructura de concreto con un bloque rígido de concreto ciclópeo enterrado en el suelo, con dimensiones de 1.90 m de largo por 1.05 m de ancho, dentro del cual está embebido un semi-pórtico de concreto reforzado consistente en una columna de sección de 300x300 mm, la cual arranca en el fondo del bloque y remata en la superficie, donde se une con una viga de igual sección, con la que forman una "L" invertida (ver Ilustración3) [5].

Ilustración 4. Equipo de simulación sísmica uniaxial



Fuente: Universidad Militar Nueva Granada

3. METODOLOGIA

Antes de dar inicio al proceso de construcción del prototipo a escala de un modelo de resonancia en edificaciones, se tiene que tener en cuenta los siguientes criterios para que su funcionamiento sea correcto:

- La edificación ha de ser suficientemente pesada con el fin de evitar que esta misma se desplace por efecto de las vibraciones generadas.
- La maqueta dispondrá de una estructura de sujeción del motor con el fin de que evite las resonancias y vibraciones ajenas a esta.
- Las revoluciones de giro del motor han de ser lo más elevadas posibles.
- La estructura ha de ser simple, compuesta por dos edificios de diferentes alturas, para observar los movimientos en las diferentes revoluciones.
- Las uniones de las piezas de la edificación serán mediante pernos con el propósito de poder modificar la estructura para posteriores ejercicios de resonancia.
- La base de la maqueta ha de ser de una longitud suficiente para que esta pueda soportar el peso sin afectar su estabilidad. Una vez definidos los criterios del prototipo a escala se procede con su construcción.

Principalmente se definen las longitudes para realizar el corte de la base. Una vez definidas las longitudes requeridas para la base de la maqueta, se realiza el corte del aglomerado. Para esto, se utiliza una sierra metálica del taller dejando un pequeño margen para lijar y afinar la medida de la pieza de forma manual.

Ilustración 5. Corte de lámina de madera con una sierra



Fuente: [6]

Luego de que sea cortada la base de la maqueta, se prosigue con la fabricación de una mesa en acero inoxidable que contará con una longitud de 1,10m, un ancho de 0,39m y una altura de 1,0m.

El objetivo de esto, es el de proporcionarle estabilidad a la maqueta. Una vez que se haya terminado la instalación de la mesa continuamos con el acoplamiento del motor en esta, con el fin de que quede de forma correcta el sistema de biela-manivela que realizará el movimiento de las edificaciones.

Ilustración 6. Mesa en Acero Inoxidable



Fuente: Autores

Ilustración 7. Sistema Biela-manivela



Fuente: Autores

Al tener listo el sistema biela-manivela del proyecto, se continúa con los cortes de los ángulos en aluminio de 3/4". Dichos ángulos se marcarán mediante un punzón y un martillo la ubicación de los agujeros a taladrar, para posteriormente instalarlos en la base del prototipo.

Ilustración 8. Perforación de los ángulos en aluminio



Fuente: Autores

Se realizó dos edificaciones, en donde uno de estos edificios cuenta con un solo nivel y el siguiente posee tres niveles. El edificio más alto cuenta con una altura de 0,70m y un ancho de 0,25 m, mientras que el edificio más bajo contará con medidas de 0,35m x 0,25m.

Ilustración 9. Edificaciones



Fuente: Autores

Posteriormente se implementaron dispositivos de control para aislar la estructura de la base, con el fin de reducir las respuestas vibratorias del sistema, Se decidió realizar un sistema aislante con 4 aisladores tipo friccional, los cuales fueron elaborados con tubería cloruro de polivinilo (PVC) de 1 1/2", que en su interior contienen 3 esferas de cristal.

Ilustración 10. Aisladores tipo friccional



Fuente: Autores

4. RESULTADOS

Con base a los ensayos realizados en el funcionamiento de la mesa vibratoria (Ilustración10), se logró la determinación de las frecuencias en las que cada edificación pierde su estabilidad y entra en el fenómeno de resonancia.

La edificación que posee una altura de 0,90m y un área de 0,0625m² entró en resonancia al generarse una frecuencia en el sistema de 5,3 Hz; mientras que la estructura que presenta menor altura (0,45m) entró en este fenómeno al registrarse 8,7 Hz, es decir, que mediante el ensayo se pudo apreciar que la estructura alta entra en resonancia cuando las longitudes de ondas son de periodo largo, mientras que la estructura más pequeña entra en resonancia cuando estas longitudes de ondas son de periodo corto.

A su vez, se implementaron dispositivos de control para evitar el movimiento de las estructuras, y se logró de manera positiva reducir las respuestas vibratorias del sistema, los aisladores tuvieron un mejor desempeño en el edificio de mayor altura ya que este exigía más por su complejidad en cuanto a masa y altura y por su rápida entrada al fenómeno de la resonancia, en cuanto a la estructura con menor dimensión tuvo una respuesta acorde con lo pretendido por los dispositivos de control activo.

5. CONCLUSIONES

Con base al funcionamiento del prototipo se pudo concluir que, la estructura que presenta una mayor masa necesitó de una baja frecuencia para poder entrar en resonancia, por otro lado, la edificación que tenía menor altura y menor masa requirió de una mayor velocidad en el motor para que la frecuencia aumentara y coincidiera con la frecuencia de la estructura con el fin de conseguir sus movimientos resonantes.

Una de las soluciones para los problemas de inseguridad estructural e incomodidad ante las vibraciones en edificios altos, es el manejo de aisladores y disipadores para el control pasivo de vibraciones, sin la utilización de energía externa mediante el cual se logra reducir de forma significativa la magnitud de las vibraciones en las estructuras. Es una alternativa que se presenta como una de las formas más eficaces y de bajo costo para el mejoramiento de la seguridad de estructuras existentes.

Se concluye que los sistemas aislantes son más efectivos que los sistemas disipadores de energía, ya que los disipadores de energía necesitan un mayor mantenimiento, además a largo plazo afecta negativamente a la estructura generando deformaciones residuales permanentes en ella, por otro lado los sistemas aislantes disminuyen drásticamente los desplazamientos en la estructura causados por un evento sísmico, de esta manera puede proteger y mantener a la edificación operativa durante y después de un sismo severo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Peralta, P. Reyes Lopez y A. Godínez Muñoz, «El fenómeno de la resonancia,» *Latin - American Journal of Physics Education*, vol. 3, p. 3, 2009.
- [2] J. C. Clavijo y L. R. Ramirez, «Simulación de una mesa sísmica,» Universidad EAFIT, Medellín, 2005.
- [3] F. González Mojica y J. Sabogal Martínez, «Dispositivo para generar sismos a escala,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2010.
- [4] Universidad del Valle, «Simuladores sísmicos para evaluación de la sismo-resistencia,» *Campus, Un periódico quincenal*, p. 1, 15 Abril 2010.
- [5] N. M. Bernal Ruiz, «Automatización del equipo de simulación sísmica uniaxial del laboratorio de estructuras,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., 2013.
- [6] De maquinas y herramientas, «Sierras circulares para madera,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.demaquinasyherramientas.com/contacto>. [Último acceso: 03 Septiembre 2016].